

Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Engenharia Eletrônica

**Título: DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA  
PARA MONITORAMENTO DE AMBIENTES  
NEONATAIS. PSIU, BEBÊ.**

Autor: Caio Costa Maciel Cardoso

Orientador: Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa

Brasília, DF

2020





Caio Costa Maciel Cardoso

**Título: DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA  
MONITORAMENTO DE AMBIENTES NEONATAIS.  
PSIU, BEBÊ.**

Monografia submetida ao curso de graduação  
em Engenharia Eletrônica da Universidade de  
Brasília, como requisito parcial para obten-  
ção do Título de Bacharel em Engenharia  
Eletrônica.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa

Coorientador: Prof. Danielle da Silva Fernandes

Brasília, DF

2020

---

Caio Costa Maciel Cardoso

Título: DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE AMBIENTES NEONATAIS. PSIU, BEBÊ./ Caio Costa Maciel Cardoso. – Brasília, DF, 2020-

Orientador: Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA , 2020.

1. Monitoramento. 2. Recém Nascido. 3. Ruído. 4. Identificação de Sistemas. 5. Neonatos. 6. Saúde. 7. UTI Neonatal. I. Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Título: DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE AMBIENTES NEONATAIS. PSIU, BEBÊ.

CDU 02:141:005.6

---

Caio Costa Maciel Cardoso

**Título: DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA  
MONITORAMENTO DE AMBIENTES NEONATAIS.  
PSIU, BEBÊ.**

Monografia submetida ao curso de graduação  
em Engenharia Eletrônica da Universidade de  
Brasília, como requisito parcial para obten-  
ção do Título de Bacharel em Engenharia  
Eletrônica.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 14 de dezembro de 2020:

---

**Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues  
Fleury Rosa**  
Orientador

---

**Prof. Danielle da Silva Fernandes**  
Coorientador

---

**Prof. Laiane Medeiros Ribeiro**  
Convidado 1

---

**Prof. Mário Fabrício Fleury Rosa.**  
Convidado 2

Brasília, DF  
2020



*Este trabalho é dedicado aos meus colegas que  
sempre estiveram ao meu lado me apoiando independente  
da circunstância. Mas mais do que isso, à minha orientadora  
e à minha família, que sempre permitiram que eu pudesse  
seguir em frente confiante e prosperar.*





# Agradecimentos

*Agradeço primeiramente à minha orientadora do artigo Prof. Suélia e aos meus amigos do grupo Psiu bebê, pois juntos fomos capazes de apurar todos os dados que obtivemos e escrever esse trabalho impressionante. Agradeço à minha família, pois diante de todas as adversidades eles sempre foram presentes e sempre confiaram no meu potencial, até mesmo nos momentos em que eu mesmo pude duvidar. E por fim, agradeço a todos os amigos que tive o imenso prazer de fazer durante todo esse período, à todos os amigos que acompanharam minha jornada, mas em especial dois deles Victor Ciurlini que foi meu confidente, meu apoio, meu exemplo e acima de tudo meu amigo. E Márcia Aline que foi o exemplo e a demonstração de que tudo é possível, basta que você queira. .*



*“Creative minds are uneven, and the best of fabrics have their dull spots.  
(H.P. Lovecraft)*



# Resumo

O objetivo desse trabalho era criar um protótipo para o monitoramento dos ruídos nos ambientes neonatais em hospitais. Estudo experimental desenvolvido numa instituição pública, Universidade de Brasília, no campus do Gama. A criação desse protótipo foi feita baseada em um sistema de captação de ruídos por pressão sonora, ou seja, através da criação de um decibelímetro. Os testes foram feitos em ambientes ruidosos em conjunto a um outro decibelímetro, para averiguação de precisão. Em posse dos dados adquiridos é possível gerar um relatório de horários de maior incidência de ruídos e também de alertar os profissionais da área quando o nível máximo de 45 decibéis, definidos pela OMS (Orgão Mundial de Saúde), for ultrapassado. Os resultados foram satisfatórios uma vez que o equipamento é capaz de gerar relatórios e alertar aos funcionários de forma eficiente sobre o nível de ruídos no ambiente. Nesses ambientes hospitalares a presença de fontes geradoras de ruído no interior das Unidades de Terapia Intensiva neonatal (UTIN) o alto ruído é um elemento que interfere no pleno desenvolvimento de um recém nascido devido a possíveis danos em seu aparelho auditivo como resultado da hiperestimulação, levando à perda parcial progressiva da audição. Estudos apontam que os níveis de pressão sonora presente nas UTINs apresentam-se em média entre 52,6 dB a 80,4dB e no interior de incubadoras o valor varia entre 45,4 dB a 79,1dB, sendo que o máximo recomendado não deve passar dos 45dB. Neste trabalho apresenta-se o modelo matemático obtido, por meio de identificação de sistemas, da dinâmica da pressão sonora tendo como entrada o choro do neonato. Os parâmetros do modelo foram obtidos por meio de um dosímetro na UTINs em três cenários: i) trocas de turnos dos enfermeiros; ii) durante a limpeza do ambiente, e iii) estado habitual. Com obtenção do modelo pelo métodos de estimação no formato Espaço de Estados uma avaliação da dinâmica do sistema foi realizada no domínio da frequência. Os resultados obtidos do modelo matemático mostram que ao configurar o projeto e funcionamento de uma tecnologia assistencial, tecnologia dura, nomeado de Psiu Bebê, ajustes da identificação off-line em contraponto a on-line devem ser previstas no monitoramento e controle em UTIN. Assim, mostra-se a importância do conhecimento do modelo do alvo a ser controlado vinculado ao desenvolvimento e funcionamento de um equipamento.

**Palavras-chaves:** UTI neonatal, controle de ruídos, neonatos, saúde, equipamento médico assistencial.



# Abstract

The goal of this work was to create a prototype for noise monitoring in neonatal environments in hospitals. Experimental study developed in a public institution, Universidade de Brasília, on Gama campus. The development of this prototype was based in a sound pressure noise system, that is, a decibel meter. The tests was conducted in noisy environments, together was used another decibel meter, for precision inquiry. With the obtained data is possible to generate a time report with higher noise incidence and also to alert the staff when the noise reaches higher than the maximum of 45 decibels, defined by the WHO (World Health Organization). The results were satisfactory, since the equipment is capable of, efficiently, generate reports and warnings to the designated staff about the level of noises in the environment. In a hospital environment the presence of noise-generating sources inside Neonatal Intensive Care Unit (NICU) loud noises is an element that interferes with the full development of a newborn due to possible damage to their hearing aid as a result of hyper stimulation, leading to progressive hearing loss. Studies show that the average sound pressure levels present in NICUs are between 52.6 dB to 80.4 dB and inside incubators, the value varies between 45.4 dB to 79.1 dB, and the maximum recommended should not exceed 45 dB. This work presents the mathematical model obtained, by means of systems identification, of the sound dynamics pressure with the newborn's cry as the input. The model parameters were obtained by a dosimeter at the NICUs in three scenarios: i) nurses' shift changes; ii) while cleaning the environment, and iii) habitual conditions. With the model obtained by estimation methods in the State-Space representation, an evaluation of the system dynamics was performed in the frequency domain. The results obtained from the mathematical model show that when configuring the design and operation of an assistive technology, hard technology, named Psiu Bebê, adjustments of offline identification in counterpoint to online should be expected in NICU monitoring and control. Thus, it shows the importance of knowing the target model to be controlled linked to the development and operation of equipment.

**Key-words:** Monitoring. Newborn. Noises.





# Lista de ilustrações

Figura 1 – Esquemático de uma ala para recém-nascidos genérica. . . . .	29
Figura 2 – Simulação da ala do hospital onde foram realizadas as coletas de dados em 3D. . . . .	30
Figura 3 – Diagrama de blocos que mostra através de blocos como funciona um controlador de temperatura genérico. . . . .	37
Figura 4 – Representação de um sistema de controle genérico. . . . .	38
Figura 5 – Ferramenta <i>SystemID</i> do <i>Matlab</i> com 6 exemplos de tratamento de curvas de entrada avaliadas em 5 curvas de saída utilizando tratamentos diferentes. . . . .	39
Figura 6 – Painel da ferramenta de identificação de sistemas, após a utilização de filtros para <i>resample</i> da curva de saída. . . . .	39
Figura 7 – Curvas para estimativas utilizando valores diferentes para a função de transferência. . . . .	40
Figura 8 – Curva de <i>fit</i> encontrado para a utilização de estado de espaços com valor 4. . . . .	40
Figura 9 – Curva de variação da média dos valores coletados durante uma semana no período de 30 minutos cada medida. . . . .	41
Figura 10 – Painel de definição do <i>systemID</i> que mostra o comportamento do <i>fit</i> para numero de polos igual a 6 e numero de zeros igual a 4. . . . .	41
Figura 11 – Esquemático do circuito por completo montado no <i>protheus</i> . Esse diagrama mostra todas as conexões e como devem ser feitas. . . . .	43
Figura 12 – Esquema que mostra com maior detalhes como o amplificador é construído já associado ao microfone que receberá os impulsos de entrada. . . . .	43
Figura 13 – Esquemático que demonstra apenas como o relé é controlado e à partir disso como a lâmpada é controlada. . . . .	44
Figura 14 – Esquemático 3D - Vista superior da placa acoplada ao microprocessador. . . . .	44
Figura 15 – Esquemático 3D - Vista lateral da placa acoplada ao microprocessador. . . . .	44
Figura 16 – Importação das bibliotecas para possibilitar a programação do código para <i>ESP8266</i> . . . . .	45
Figura 17 – Definindo as portas e variáveis e definindo como cada variável é setada para poderem ser utilizadas no corpo . . . . .	45
Figura 18 – Set dos parâmetros de como o arduíno, e suas portas, é configurado para o correto funcionamento do código. . . . .	45
Figura 19 – Código que define as rotinas do microcontrolador para receber os dados, fazer a conversão do que foi recebido em decibéis e definição do limite permitido de decibéis. . . . .	46

Figura 20 – Primeira versão do protótipo construído em uma caixa de celulares antiga e ainda utilizando <i>leds</i> e uma tela de LCD. . . . .	49
Figura 21 – Protótipo versão 2, já sem a tela de LCD e a utilização de uma caixinha de plástico e com a presença da fonte. . . . .	49
Figura 22 – Versão final do circuito acoplado a placa perfurada. . . . .	50
Figura 23 – Vista 1 do circuito montado para testes. . . . .	50
Figura 24 – Vista 2 do circuito montado para testes. . . . .	51
Figura 25 – Vista 3 do circuito montado para testes. . . . .	51
Figura 26 – Valores utilizados para definição de zeros e polos no sistema. . . . .	53
Figura 27 – <i>fit</i> obtido para número de zeros = 4 e números de polos = 6. . . . .	54
Figura 28 – Função de transferência para o parâmetro mais adequado ao sistema. .	54
Figura 29 – Parâmetros de parametrização utilizados pelo software para encontrar a função de transferência. . . . .	54
Figura 30 – Resposta da curva encontrada utilizando os parâmetros citados à um impulso. . . . .	55
Figura 31 – Gráfico do ruído no turno de 00:00 as 12:00 horas.. . . .	61
Figura 32 – Curva comparativa entre o turno diurno e o turno noturno. . . . .	62

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Especificações do decibelímetro utilizado para fazer a coleta dos dados	37
Tabela 2 – Primeiro teste realizado utilizando o protótipo sem fazer alteração de calibragem . . . . .	52
Tabela 3 – Segundo teste, realizado após uma recalibragem ter sido executada. . .	52
Tabela 4 – Resultados para o terceiro teste após uma segunda recalibragem . . . .	53



# Lista de abreviaturas e siglas

UTI	Unidade de Tratamento Intensivo
UTIN	Unidade de Tratamento Intensivo Neonatal
FIG	Figura
UCIN	Unidade de Cuidados Intermediários Neonatais



# Lista de símbolos

$\Gamma$	Letra grega Gama
$\Lambda$	Lambda
$\zeta$	Letra grega minúscula zeta
$\in$	Pertence





# Sumário

	<b>Introdução</b>	<b>25</b>
<b>I</b>	<b>DESCRIÇÃO DO CENÁRIO</b>	<b>27</b>
<b>1</b>	<b>DESCRIÇÃO DO CENÁRIO</b>	<b>29</b>
<b>1.1</b>	<b>Cenário: UTIN (Unidade de Tratamento Intensivo Neonatal)</b>	<b>29</b>
<b>1.2</b>	<b>Estudo sobre ruídos nos ambientes neonatais</b>	<b>30</b>
<b>1.2.1</b>	Unidade de medida: Frequência e Decibéis	30
<b>1.2.2</b>	A diferenciação entre os ruídos	31
<b>II</b>	<b>A CRIAÇÃO DO PROTÓTIPO: PSIU, BEBÊ</b>	<b>33</b>
<b>2</b>	<b>A CRIAÇÃO DO PROTÓTIPO: PSIU, BEBÊ</b>	<b>35</b>
<b>2.1</b>	<b>PsIU, bebê, o que é e para que serve</b>	<b>35</b>
<b>2.2</b>	<b>Métodos Utilizados</b>	<b>35</b>
<b>2.2.1</b>	Delineamento	35
<b>2.2.2</b>	Cenários	35
<b>2.2.3</b>	Local de Estudo e Amostra	36
<b>2.2.4</b>	Controle de Ruído	36
<b>2.2.5</b>	Coleta de Dados	37
<b>2.2.6</b>	Identificação do Sistema	38
<b>2.3</b>	<b>A construção do protótipo</b>	<b>42</b>
<b>2.3.1</b>	Materiais utilizados	42
<b>2.3.2</b>	Construção do circuito eletrônico	42
<b>2.3.3</b>	Programação do protótipo	44
<b>III</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>47</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>49</b>
<b>3.1</b>	<b>Resultados do Protótipo</b>	<b>49</b>
<b>3.2</b>	<b>Resultados da Identificação de Sistemas</b>	<b>53</b>
<b>IV</b>	<b>DISCUSSÃO</b>	<b>57</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO</b>	<b>59</b>

4.1	Achados Relevantes . . . . .	59
4.2	Avaliação da Própria Pesquisa: limites e aspectos positivos . . . . .	59
4.3	Interpretação dos Dados . . . . .	59
4.4	Versão 1 . . . . .	59
4.5	Versão 2 . . . . .	60
4.6	Versão Final . . . . .	60
4.7	Análise do Sistema . . . . .	60
<b>V</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>63</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>67</b>

# Introdução

É sabido que com a evolução tecnológica, cada vez mais existem novos estudos e consequentemente novos aparelhos que auxiliam os médicos e enfermeiros a tratarem os pacientes. Essa evolução, sem sombra de dúvidas vem para o bem, facilitando o trabalho da equipe profissional e o tratamento e bem estar daqueles que estão sendo tratados. Existem alguns equipamentos que possuem presença indispensável nas UTIs ([MOREIRA, 2020](#)). Sendo esses equipamentos eletrocardiógrafos, ventiladores-pulmonares, oxímetros, entre outros de igual importância. No entanto, essa inovação traz consigo um problema que se torna cada vez mais notado e mais estudado na comunidade ([GSR SILVA RC, 2016](#)), que é o aumento gradativo dos problemas nas alas de UTI causado pelas máquinas presentes, incluindo ruídos nos ambiente. Esse problema não afeta apenas os funcionários, mas também os pacientes independente de suas idades, como é o caso dos recém-nascidos.

Diante do problema exposto, esta pesquisa apresentará uma abordagem denominada avaliação da dinâmica do sistema pressão sonora. O objetivo é compreender as relações, focando na possibilidade de corrigi-la por meio de um controlador. Esta abordagem foi escolhida por ser possível fazer o monitoramento e avaliação em tempo real, uma vez que o registro de ruídos continuará sendo feito mesmo quando não houver funcionários no local. Além disso, o equipamento pode ser facilmente adaptado para diferentes UTINs e apresenta baixo custo e acessibilidade. As caracterizações obtidas são importantes para promover uma lei de controle mais precisa, permitindo uma compreensão mais clara das variáveis que compõem o modelo matemático obtido da pressão sonora, tendo como entrada o choro do neonato. Para isso, primeiro é necessário entender quais são os cenários mais característicos do meio, e então apresentar uma proposta de descrição de três cenários, sendo eles: i) trocas de turnos dos enfermeiros; ii) durante a limpeza do ambiente, e iii) estado habitual.

Os dados coletados consistem em sinais sonoros que se propagam pelo quarto do hospital. O equipamento registra a pressão sonora a cada minuto e fica ligado durante um período de 23h de um dia. Com o objetivo de combinar os dados com o potencial da identificação de sistemas, o material obtido é filtrado no software *Matlab* para remover os ruídos desnecessários. A partir disso, aplica-se um modelo, que gera gráficos capazes de descrever a quantidade de barulho no quarto durante o período em que os dados foram coletados.

Atualmente há no mercado opções para medição de ruídos, como dosímetros e decibelímetros. Contudo, estas opções muitas vezes se apresentam muito caras para compra, chegando a custar mais de R\$4000,00. Alguns sistemas baratos de medição podem

ser encontrados, mas não em cenário nacional, necessitando importação. Um estudo conduzido em uma UTIN no norte do estado de Minas Gerais (MG), Brasil, fez uso do medidor de pressão sonora SOLO *Black Edition*®, devidamente calibrado para o mapeamento do ruído sonoro na UTIN. (SANTANA; RUAS, 2015) Em contrapartida, em estudos realizados na Faculdade Nacional de Tucumán, Argentina (GALLO; OLIVERA, 2016a), foi desenvolvido um equipamento de medição de ruídos que alcançou resultados semelhantes ao do mercado, assim, ainda possibilitou medidas profiláticas e paliativas em relação às fontes de ruído. A exposição excessiva ao ruído traz estímulos que podem provocar incômodo (LA; CD, 2017) e retardo no ganho de peso do bebê. (BALBINO; PINHEIRO; KAKEHASHI, 2011) O organismo do neonato pode responder com alguns sintomas: hipóxia (LEITE; SILVA; BUZO, 2016), liberação de hormônio adrenocorticotrófico e adrenalina na corrente sanguínea, aumento da frequência cardíaca, contração nos vasos sanguíneos, dilatação pupilar, elevação da pressão arterial e intracraniana, aumento do consumo de oxigênio, de gasto calórico (TSUNEMI; KAKEHASHI; PINHEIRO, 2012) e até a perda auditiva. (MOREIRA; MORSCH, 2003) Mesmo com o isolamento acústico, fontes de ruído vindas de dentro da Unidade de Terapia Intensiva Neonatal (UTIN) são observadas. Aparelhos hospitalares, alarmes (KAKEHASHI; PINHEIRO; GUILHERME, 2007), conversas de funcionários (ICHISATO; SCOCHI, 2006), abrir e fechar as portas, manuseio e limpeza das incubadoras (CONTO; A.; GODOY, 2001) são agentes causadores desse ruído. Os ruídos presentes em UTINs podem acarretar em danos ao sistema auditivo e prejuízos cognitivos, sociais e emocionais no recém nascido. Um estudo foi feito no estado do Colorado (EUA) pela *University of Colorado* em conjunto com o *Colorado Department of Public Health and Environment*, onde foram selecionadas 50 crianças. O objetivo do estudo era mostrar a diferença no desenvolvimento de crianças que passaram por programas de prevenção de perda auditiva e as que não passaram. O estudo mostrou que crianças que perdem parcialmente a audição demonstraram dificuldades no desenvolvimento da fala e linguagem expressiva, além de um atraso na compreensão auditiva. (VOSTANIS et al., 2000)

A perda auditiva em recém nascidos pode também afetar no desempenho escolar da criança, que desenvolverá dificuldades de aprendizado além de problemas comportamentais e dificuldade de adaptação. (PHD; THOMSON, 1997)

# Parte I

## Descrição do Cenário



# 1 Descrição do Cenário

## 1.1 Cenário: UTIN (Unidade de Tratamento Intensivo Neonatal)

Primeiramente é necessário entender como a unidade é organizada. Como é um ambiente hospitalar, devem existir as separações de ambientes para a organização de materiais, computadores, equipamentos pessoais, prescrições e até mesmo de utensílios básicos, como pias e balanças. A figura 1, mostra com mais detalhes a forma como a UTIN estudada é estruturada e como os equipamentos são distribuídos.

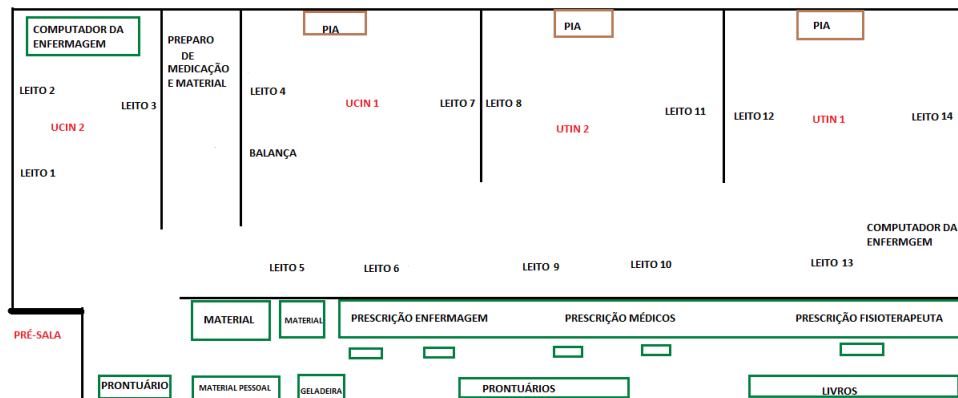


Figura 1 – Esquemático de uma ala para recém-nascidos genérica.

Como é possível notar, a UTIN é composta por 14 leitos divididos em 4 salas sendo 2 UTINs e 2 UCINs. Além disso, é possível notar que apenas uma das salas não possui uma pia. É possível notar a presença de computadores e uma sala de preparação de medicamentos, além de armários para o armazenamento de materiais e prescrições. Tudo que é possível notar no esquemático é importante pois é a partir disso que pode-se criar uma ambientação para o entendimento de quanto ruído existe no ambiente, mas não apenas isso, como também onde são gerados.

Além desse modelo genérico, foi criado um modelo em 3D mais fiel ao ambiente onde foram realizadas as coletas de dados para a criação do protótipo. Na figura 2, é possível ver que existem algumas diferenças, no entanto, também é possível entender que além dos componentes comuns citados no esquemático genérico, existem cadeiras, mesas, portas e outros objetos que podem ser geradores de ruídos.

Tendo em vista a organização estrutural da ala hospitalar onde estão hospedados os recém-nascidos, já é possível fazer algumas suposições de onde são gerados os ruídos e qual a intensidade dos mesmos. A presença da equipe médica, assim como a presença de

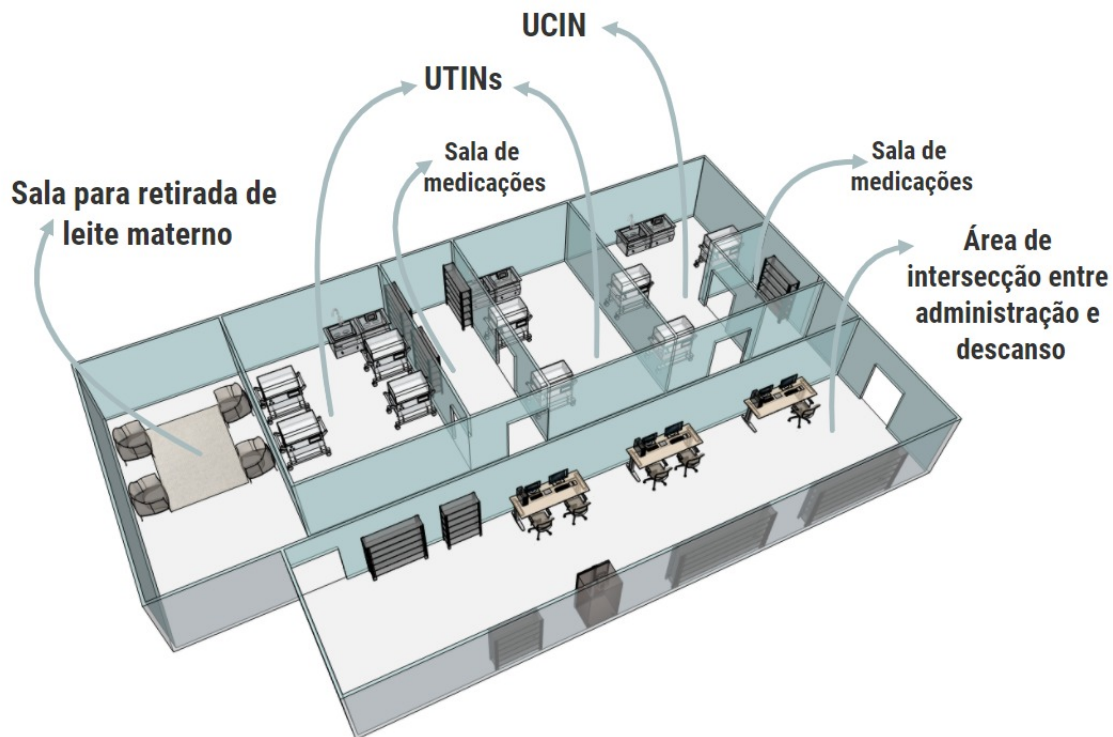


Figura 2 – Simulação da ala do hospital onde foram realizadas as coletas de dados em 3D.

equipamentos médicos e objetos, que são importantes durante o cuidado dos neonatais, podem ter grande influência na pressão sonora presente nesses ambientes. Essa hipótese será verificada através dos dados coletados durante o período de uma semana na UTIN.

## 1.2 Estudo sobre ruídos nos ambientes neonatais

### 1.2.1 Unidade de medida: Frequência e Decibéis

Para a descrição de decibéis deve-se se entender também o conceito de frequência. Decibéis e frequência são grandezas utilizadas para descrever o nível do som e o número de ciclos de uma onda sonora no tempo.

A frequência de som é o número de ciclos de uma onda, pelo tempo. Quando se utiliza a unidade de medida hertz (Hz), é definido que o tempo se dá em segundos. Portanto à medida que um número de ciclos por segundo aumenta, consequentemente, tem-se um aumento de frequência em Hz.

Para parâmetro de informação, uma pessoa normal, consegue ouvir as vibrações que variam de 20 a 20.000 Hz, onde quanto mais baixo o nível da frequência, mais grave o som, sendo assim, quanto mais alta a frequência, mais agudo é o som. (MOREIRA, 2020)

Já os decibéis (dB) são usados para medir a intensidade de som. Essa medida é dada em escala logarítmica, em que a duplicação da pressão do som corresponde a 6 decibéis



no aumento de intensidade. O dB, no entanto, possui uma característica importante que é a de não possuir uma unidade fixa como algumas outras grandezas como voltagem, peso ou metro, por exemplo. A unidade de dB depende do contexto onde está sendo utilizada.

Exemplos de diferentes intensidades de som em dB(HL), ou seja, à nível do som:

- 180 dB: Decolagem de foguete
- 110 dB: Trovões
- 80 dB: Música em volume alto
- 60 dB: Conversação normal
- 30 dB: Sussurro

Tendo exemplificado as intensidades de pressão sonora em decibéis, é possível perceber que em um ambiente comum, com pessoas conversando em volume normal, a média é de 60 dB. Esse valor, extrapola o limite recomendado de 45 dB. Isso já exemplifica a importância do auto monitoramento estando presente nesses ambientes.

### 1.2.2 A diferenciação entre os ruídos

O ruído nada mais é que um fenômeno físico que deriva de uma mistura de sons não harmoniosos, que origina de uma sobreposição de várias vibrações de diferentes frequências que não tem relação entre si. Existe uma norma NR-15 (atividades e Operações Insalubres) que define os limites de tolerância permitidos. (NR15, 2020)

Existem três classes para classificar os ruídos, podendo ser contínuo (estável, com variações máximas de 3 a 5 dB). Intermitente (oscilações de maior ou menor intensidade) e de impacto (apresenta picos de ruído com duração menor que 1 segundo).

A NR-15 em seus anexos I e II, (ANEXO I, 2020) e (ANEXO II, 2020), respectivamente, para fins de avaliações em higiene ocupacional considera apenas os ruídos classificados com contínuo e o de impacto, sendo o ruído contínuo ou intermitente: aquele que não é ruído de impacto e o ruído de impacto aquele com duração inferior a um segundo, em intervalos superiores a um segundo.

Um dos cálculos mais utilizados para definir a exposição dos trabalhadores é a LEQ (*Equivalent Sound Level*) que em tradução livre significa nível equivalente de ruído. Esta é a metodologia que é utilizada para realizar o cálculo da média de ruído, em decibéis, a que ficam expostos os trabalhadores, nas mais variadas exposições.

Os anexos I e II são responsáveis por trazer os parâmetros ocupacionais para que se aplique a medição do ruído, com o objetivo de avaliar os riscos, propor medidas

preventivas de controle além de estabelecer um limite considerado de tolerância para a exposição diária dos trabalhadores aos diversos níveis de ruído durante sua jornada.

## Parte II

A criação do protótipo: Psiu, bebê



## 2 A criação do protótipo: Psiu, bebê

### 2.1 Psiu, bebê, o que é e para que serve

O protótipo do Psiu, bebê nada mais é do que um dispositivo de controle ativo para alertar aos funcionários o nível excessivo de ruídos no ambiente. Através de dados levantados utilizando um decibelímetro e simulações através do MATLAB, foi possível a sintetização do produto.

O Funcionamento se dá de forma simples, o equipamento, que tem uma funcionalidade bem parecida com o decibelímetro, capta a pressão sonora do ambiente e faz uma verificação do valor medido. Caso esse valor exceda o limite estipulado o software envia um comando para que uma lâmpada de alerta seja acesa, alertando aos funcionários presentes.

### 2.2 Métodos Utilizados

#### 2.2.1 Delineamento

Trata-se de um estudo quase experimental. Os estudos quase-experimentais também são conhecidos como ensaio não aleatório, são semelhantes aos experimentos, porque incluem a manipulação de uma variável independente (implantação de um sensor luminoso na unidade como medida de intervenção). Esse delineamento é considerado viável, pois é a única alternativa para demonstrar eficácia ou efetividade de um programa. (GALLO; OLIVERA, 2016b)

#### 2.2.2 Cenários

Quatro cenários serão abordados: Habitual: Os médicos ficam sempre na sala de prescrição. Na UTIN existem alarmes e vários equipamentos que emitem ruídos, como os computadores. Troca de turno: as trocas de turno acontecem três vezes ao dia, às 7h, 13h e 19h. Os funcionários que trocam de turnos são médicos, enfermeiros e técnicos. Durante as trocas de turno, os funcionários costumam conversar para relatar o que aconteceu durante o período. Limpeza: a limpeza é feita uma vez a cada turno, às 10h, 16h e 20h. A limpeza geral acontece uma vez por semana jogando água, nos outros dias a unidade é limpa com panos, geralmente com sabão em pó e desinfetante. Visita de familiares: os pais dos bebês podem visitar livremente, outras visitas possuem horário marcado às 15h.

### 2.2.3 Local de Estudo e Amostra

O estudo foi realizado em um ambiente virtual simulado no software Matlab 2016. O ambiente simulado tem como modelo uma UTIN de um hospital referência de Brasília-DF. Conta com uma sala de cuidados especiais para recém nascidos, que contém quatro leitos em uma área de 2,5m<sup>2</sup> respeitando um espaço de 80 cm entre as incubadoras.

O ambiente simulado pelo estudo conta com características especiais como teto rebaixado, para facilitar a limpeza, temperatura entre 27° a 28° C, umidade do ar em 50%, portas e esquadrias pintadas, ante-sala para soluções anti-sépticas e piso lavável sem fresta. Além disso existem equipamentos hospitalares ao lado dos leitos. Há dois a quatro pontos de oxigênio, dois pontos de ar comprimido, dois a três pontos de vácuo, um monitor de apneia e um monitor de frequência cardíaca para cada leito. A equipe é composta por médicos, enfermeiros, fisioterapeutas, terapeutas ocupacionais. Além dos profissionais citados ainda circulam psicólogos, técnicos de apoio e diagnósticos, equipe de limpeza, e familiares dos RNs hospitalizados, além de alunos de graduação das áreas da enfermagem e fisioterapia e residentes de medicina.

### 2.2.4 Controle de Ruído

Para o tratamento desses ruídos existe a técnica de controle. Há duas formas de realizar um controle de ruídos. Controle de ruído passivo, onde basta que sejam adicionados objetos que se tornam barreiras evitando a propagação dos ruídos. E controle de ruído ativo, que é feito utilizando um atuador que obedece à técnicas de controle que fazem com que o sistema se comporte dentro de parâmetros previamente definidos. Um exemplo para o sistema de controle, que funcionaria de forma análoga, seria um controlador PID construído para fazer o controle de temperatura no ambiente. A sigla PID significa *Proportional, Integral, Derivative*, que em tradução livre significa "proporcional, integrativo, derivativo". Pelo próprio nome é possível concluir que ele funciona à base de um atuador que possui uma constante proporcional, um circuito que integra e um circuito que deriva. A associação desses três parâmetros faz com que seja mais eficiente a forma de atingir o objetivo definido como saída, através de uma entrada de sinal, que é aquela que deseja-se controlar. Para ilustrar o funcionamento de um controlador de temperatura PID, é possível observar a figura mostrada a seguir que mostra explicitamente cada etapa e como os dados são manipulados. (BERTULUCCI, )

Pelo diagrama é possível analisar que um sinal medido pelo sensor de temperatura é subtraído do sinal que é o valor definido como o objetivo. Dessa forma, é possível passar para o sistema se o valor no instante é maior, menor ou igual ao requisitado. Feito isso, essa informação é passada pelos blocos P, I e D, que são somados tendo como resultado a função de transferência do sistema. Além disso, define-se uma faixa de erro aceitável para que o sistema entre em equilíbrio. Por fim, inicia-se o conceito de realimentação, o sensor

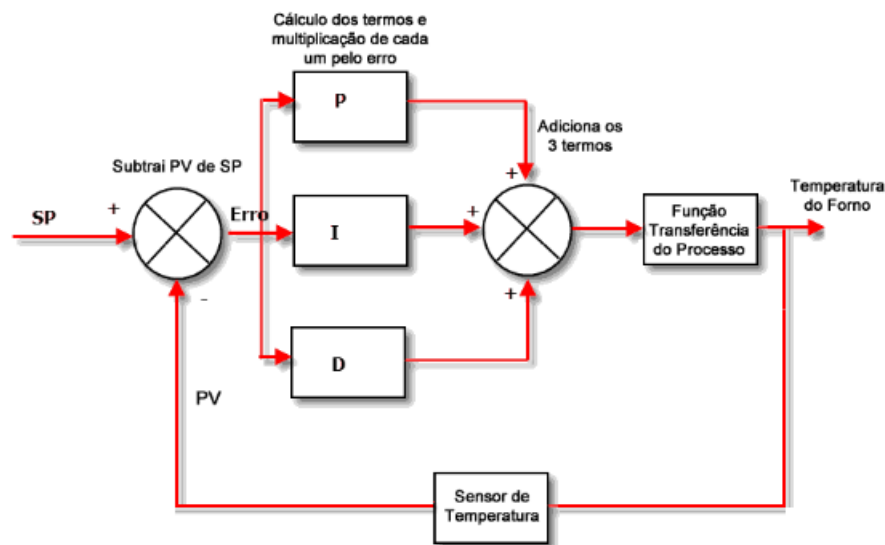


Figura 3 – Diagrama de blocos que mostra através de blocos como funciona um controlador de temperatura genérico.

de temperatura faz outra medida e repassa esse valor para ser novamente comparado com o valor definido, esse processo se repete até que o valor do erro esteja dentro da faixa definida como aceitável.

### 2.2.5 Coleta de Dados

Para a coleta de dados foi utilizados o dosímetros do modelo *Quest400* com as seguintes especificações:

Comprimento	Altura	Largura	Tamanho do cabo	Tamanho do microfone	Peso
140 mm	70 mm	40 mm	91,4 cm	8 mm (raio)	440g

Tabela 1 – Especificações do decibelímetro utilizado para fazer a coleta dos dados

Um dos aparelhos foi posicionado no teto dentro da UTIN, preso por um gancho encaixado em um suporte de madeira. O outro do lado de fora, com calibração de 40-140 dB. A coleta foi feita durante 7 dias em um período de 23h30m, aproximadamente, tendo fim às 07:30 e início do novo ciclo às 8h do dia. Os 30 minutos faltantes entre 07:30 e 8h foram complementados estatisticamente, totalizando 10080 medidas. Às 7:30 era feita a troca das baterias dos dosímetros para serem ligados novamente. Os dados utilizados são dados reais coletados em um hospital localizado em Brasília-DF. O hospital em questão possui atendimento gratuito pelo SUS (Sistema Único de Saúde) e a ala neonatal deste hospital possui 14 leitos [21]. Por se tratar de dados reais, é necessária autorização para realizar a mensuração, que foi concedida pelo CEP da Fundação de Ensino e Pesquisas em Ciências da Saúde, aprovado sobre o número CAAE 63141716.8.0000.0030.

### 2.2.6 Identificação do Sistema

Dá-se o nome de modelagem matemática a área do conhecimento que estuda maneiras de implementar e construir modelos matemáticos de sistemas (AGUIRRE, 2004). A representação esquemática de um sistema de controle pode ser observada na figura N. Na qual a entrada do sistema, representada pela letra E, recebe os sinais obtidos do ambiente pelo aparelho medidor de ruído. A saída, representada por S, são os dados captados pelo aparelho durante a mensuração de ruído. O valor de saída é comparado com uma trajetória de referência e quando se desvia desse valor gera um erro. O Comparador de Valores tem a função de eliminar o erro gerado do sistema do medidor de ruído. A ação de controle é aplicada ao Medidor de Ruído da planta, conforme mostrado a seguir.

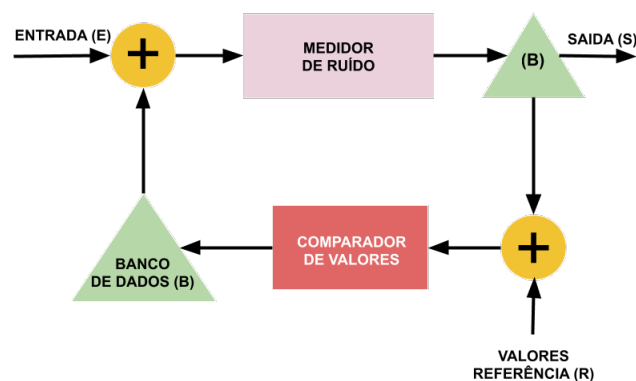


Figura 4 – Representação de um sistema de controle genérico.

Para este trabalho, como a coleta de dados resultou em 10080 valores foi necessário fazer um tratamento para que a curva não ficasse muito ruidosa. Dessa maneira, a primeira coisa a ser feita, foi a criação de uma tabela contendo apenas as medições de 30 em 30 minutos. A partir desta tabela, utilizou-se a técnica de média móvel, para que pude ser obtido uma média de como esses dados se comportavam com o passar do tempo. Por fim, pode-se utilizar a ferramenta de identificação de sistemas do matlab para buscar um padrão possível para os dados obtidos.



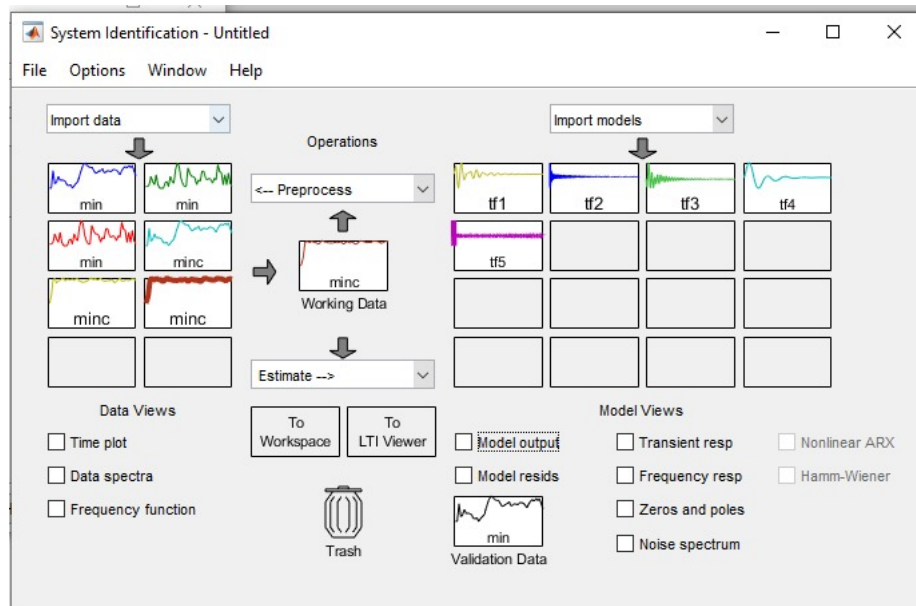


Figura 5 – Ferramenta *SystemID* do *Matlab* com 6 exemplos de tratamento de curvas de entrada avaliadas em 5 curvas de saída utilizando tratamentos diferentes.

A ferramenta de identificação de sistemas possui diferentes tipos de pré-processamento para a curva definida, podendo gerar assim, curvas diferentes. Sendo assim, é necessário fazer a verificação de resposta para cada tipo de pré-processamento. A figura a seguir mostra a adição de mais alguns tratamentos, como remoção de média e uso de filtros para fazer o *resample* da amostra

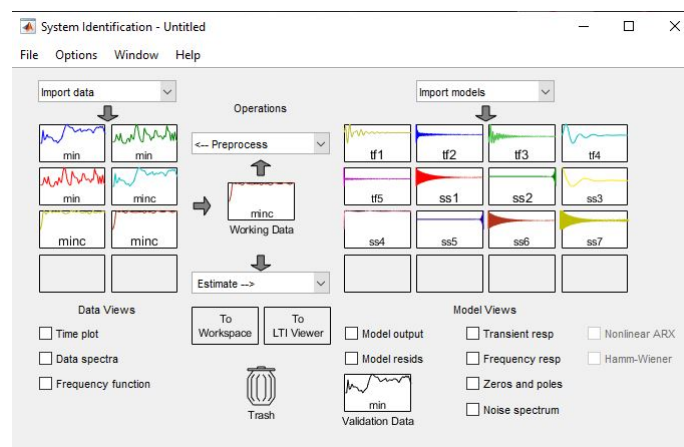


Figura 6 – Pannel da ferramenta de identificação de sistemas, após a utilização de filtros para *resample* da curva de saída.

A partir destes tratamentos é possível fazer o *plot* de curvas diferentes para parâmetros diferentes.

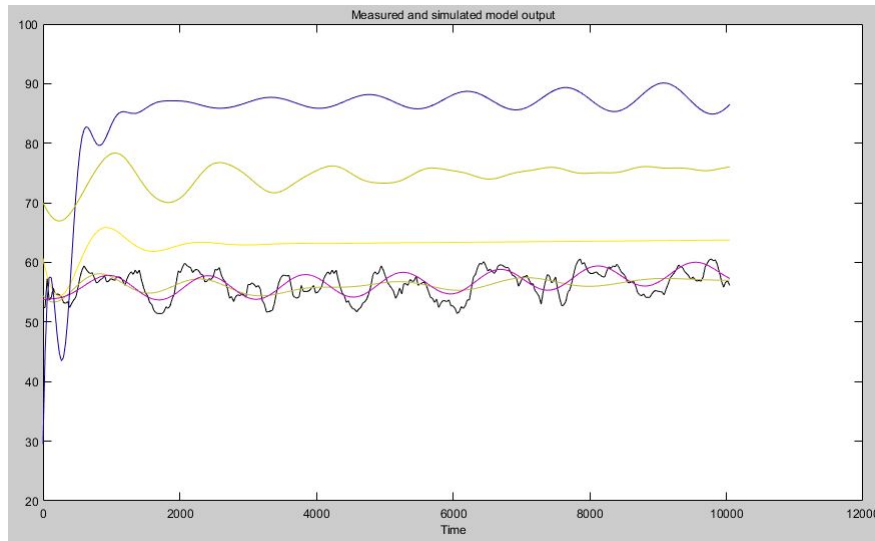


Figura 7 – Curvas para estimativas utilizando valores diferentes para a função de transferência.

Como parâmetro de procura do *plot* mais adequado, é possível utilizar também o parâmetro espaço de estados. Ao utilizar este parâmetro, a curva até começava se adequando a original, porém acabava sofrendo uma variação como é possível notar na figura a seguir:

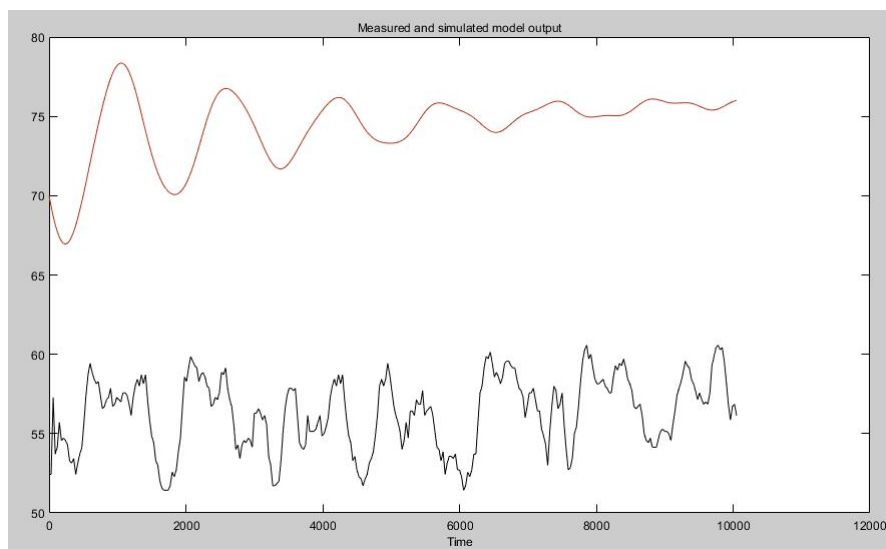


Figura 8 – Curva de *fit* encontrado para a utilização de estado de espaços com valor 4.

Como é possível notar, existem inúmeras combinações na busca da curva mais adequada. Por fim, o tratamento mais fiel utilizado gerou a seguinte curva:

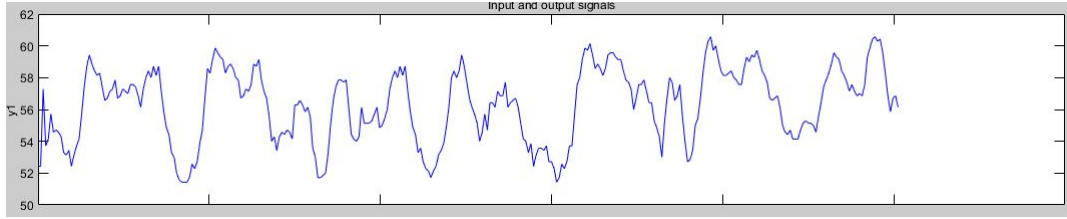


Figura 9 – Curva de variação da média dos valores coletados durante uma semana no período de 30 minutos cada medida.

É possível notar que essa curva apresenta alguns picos e vales, mas é necessário encontrar um *fit* que represente o comportamento desses dados. Para isso foram utilizadas ferramentas para a estimativa de espaço de dados e de função de transferência, definindo o número de espaços ou o número de polos e zeros para cada sistema respectivamente.

A figura mostrada exemplifica um *plot* em relação a curva real, no entanto, a ferramenta permite tentar buscar a melhor combinação de parâmetros - sejam eles números de polos e zeros ou tamanho do espaço de estados - para encontrar a curva que mais se adequa ao sistema.

O melhor *fit* encontrado, foi definindo o número de polos e zeros através da função de transferência.

Transfer Function Identification						
Estimation data: Time domain data minc						
Data has 1 outputs, 1 inputs and 42 samples.						
Number of poles: 6, Number of zeros: 4						
Initialization Method: "iv"						
Estimation Progress						
7	2.9073	2.68e-12	2.7e+11	20	1.64e-07	0
8	2.9073	2.1e-12	1.92e+11	20	1.34e-08	0
9	2.9073	1.87e-13	2.96e+10	20	1.11e-09	0
10	2.9073	1.47e-13	1.49e+10	20	8.96e-11	0
11	2.9073	1.78e-14	2.9e+09	20	6.55e-12	0
12	2.9073	1.46e-14	1.45e+09	20	1.42e-12	0
13	2.9073	2.7e-15	4.5e+08	20	1.5e-12	1
14	1.98746	0.00119	1.97e+16	20	31.6	0
15	1.97376	1.83e-09	3.13e+14	18.6	0.689	0
16	1.97368	6.17e-10	2.22e+13	18.6	0.00391	0
17	1.97368	3.48e-11	2.17e+12	18.6	4.12e-05	0
18	1.97368	4.87e-12	2.76e+11	18.6	4.87e-07	0
19	1.97368	2.81e-13	2.84e+10	18.6	5.98e-09	0
20	1.97368	4.54e-14	3.41e+09	18.6	7.19e-11	0
-----						
Estimating parameter covariance...						
done.						
Result						
Termination condition: Maximum number of iterations reached..						
Number of iterations: 20, Number of function evaluations: 68						
Status: Estimated using TFEST						
Fit to estimation data: 86.69%, FPE: 4.61286						

Figura 10 – Painel de definição do *systemID* que mostra o comportamento do *fit* para numero de polos igual a 6 e numero de zeros igual a 4.

## 2.3 A construção do protótipo

### 2.3.1 Materiais utilizados

- ESP8266
- Microfone
- Potenciômetro Trimpot 10k
- CI LM324
- CI LM386
- Resistor 10  $\Omega$
- Resistor 100  $\Omega$
- Capacitor 0.01  $\mu\text{F}$
- Capacitor 2.2  $\mu\text{F}$
- Capacitor 1  $\mu\text{F}$
- Capacitor 4.7 nF
- Lâmpada + Bucal
- Relé 5V
- 2 Reguladores L7805CV

### 2.3.2 Construção do circuito eletrônico

Para a construção do protótipo foi feito um esquemático utilizando o software *protheus*, como pode ser visto na figura 2.

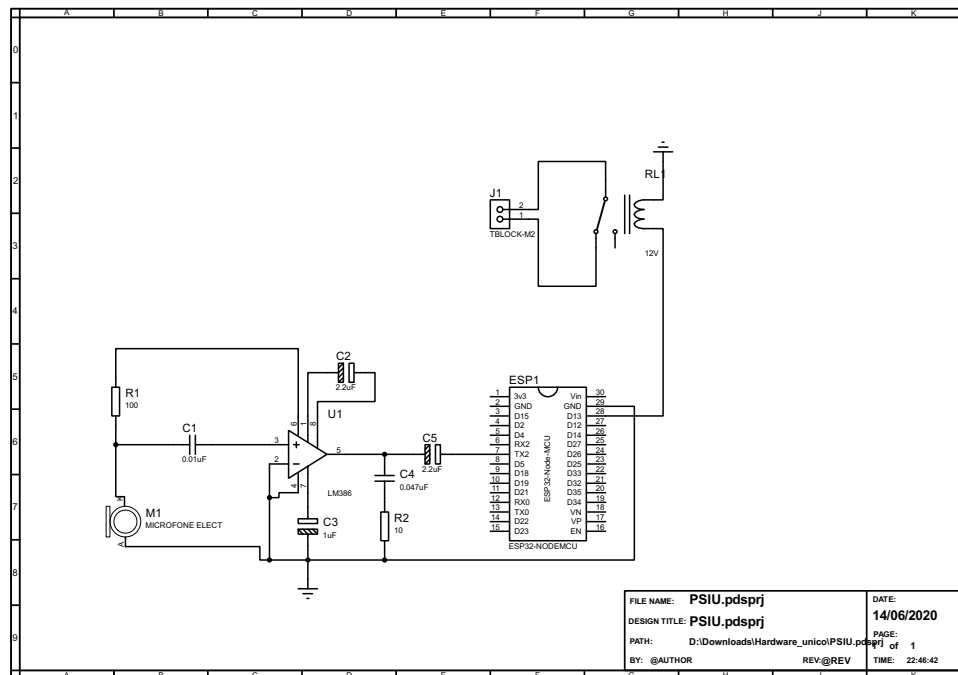


Figura 11 – Esquemático do circuito por completo montado no *protheus*. Esse diagrama mostra todas as conexões e como devem ser feitas.

Destrinchando o esquemático, é possível notar dois ambientes onde atua o controle feito pela *ESP8266*. O primeiro ambiente sendo o sensor. Este é construído utilizando um amplificador para que os sinais captados pelo microfone sejam amplificados para o tratamento feito no microcontrolador.

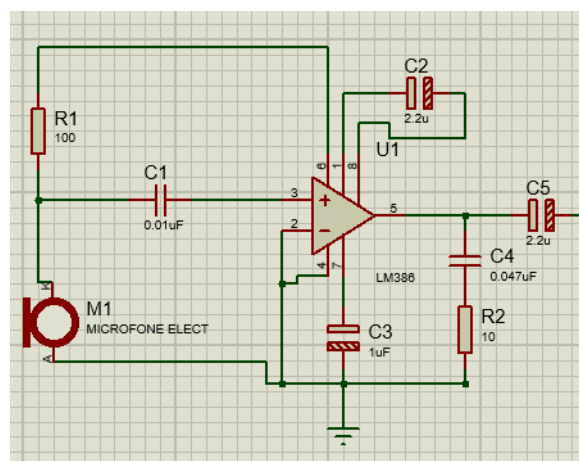


Figura 12 – Esquema que mostra com maior detalhes como o amplificador é construído já associado ao microfone que receberá os impulsos de entrada.

Já o segundo ambiente é apenas o controle de um relé que é utilizado para fazer a lâmpada acender caso o limite estipulado seja ultrapassado.

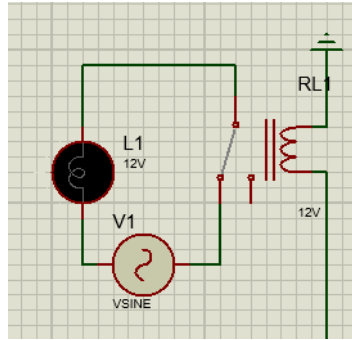


Figura 13 – Esquemático que demonstra apenas como o relé é controlado e à partir disso como a lâmpada é controlada.

A seguir é mostrado um esquemático 3D de como o circuito ficará quando estiver montado.

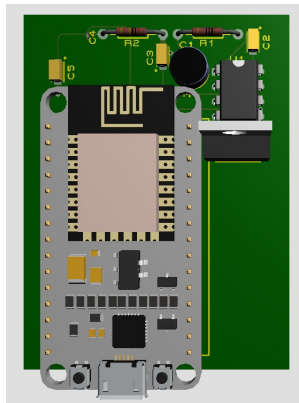


Figura 14 – Esquemático 3D - Vista superior da placa acoplada ao microprocessador.

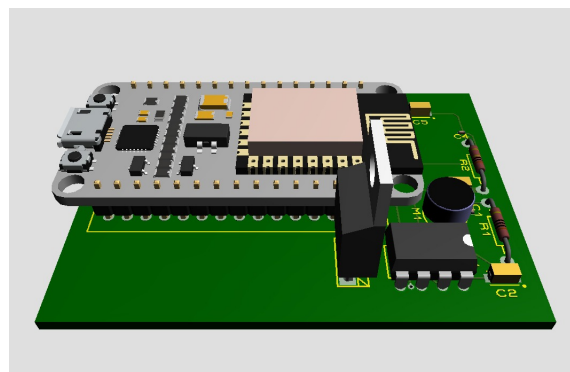


Figura 15 – Esquemático 3D - Vista lateral da placa acoplada ao microprocessador.

### 2.3.3 Programação do protótipo

O código foi feito utilizando a interface de programação para Arduino através da importação das bibliotecas para esse microcontrolador.

```
#include <stdio.h>
#include <Esp32WifiManager.h>
#include <ESP_WiFiManager-Impl.h>
#include <ESP_WiFiManager.h>
#include <ESP_WiFiManager_Debug.h>
```

Figura 16 – Importação das bibliotecas para possibilitar a programação do código para *ESP8266*.

O passo seguinte é definir o limite de dB que ao ser ultrapassado faz o acionamento do relé para que a lâmpada seja ativada. Além disso são feitas as definições das variáveis a serem utilizadas, incluindo as portas que são usadas para fazer o controle do relé e a porta que recebe o sinal vindo do amplificador. Por fim, é criado um *Client* de acesso ao HTTPS.

```
#define limMax = 45; //Aqui está definido que o limite máximo de decibéis é 45

int Mic = 7; //Declaramos o microfone
int nivelSomdB; //Declaramos o nível de som
int dB; //Variável auxiliar
int pinoRele = 24;

WiFiClientSecure client; //Cria um cliente seguro (para ter acesso ao HTTPS)
String textFix = "GET /forms/d/e/1FAIpQLSd9I2I4nJ8RETfuvml4Q_rqsbFWQHivNyYngJD2NwhJpLA/formResponse?ifq&entry.650687655=";
//Essa String será uma auxiliar contendo o link utilizado pelo GET, para não precisar re-escrever
```

Figura 17 – Definindo as portas e variáveis e definindo como cada variável é setada para poderem ser utilizadas no corpo

Para o funcionamento correto da *ESP* é necessário fazer a configuração de funcionamento, isso é feito dentro do parâmetro *setup*, nesse ponto é ativado a utilização do modo *WiFi* e a definição das portas que serão utilizadas como *INPUTS* ou *OUTPUTS*.

```
void setup()
{
    Serial.begin(115200); //Inicia a comunicacao serial
    WiFi.mode(WIFI_STA); //Habilita o modo estacao
    WiFi.begin("SUA REDE", "SUA SENHA"); //Conecta na rede
    delay(2000); //Espera um tempo para se conectar no WiFi
    pinMode(Mic, INPUT); //Define o microfone como uma entrada
    pinMode(pinoRele, OUTPUT); //Define a lampada como a saída
}
```

Figura 18 – Set dos parâmetros de como o arduíno, e suas portas, é configurado para o correto funcionamento do código.

O parâmetro *loop* é onde define-se o que será executado pelo controlador, enquanto ele estiver ativo, definindo qual a função de cada porta definida anteriormente, quais os cálculos deverão ser feitos para a conversão dos dados captados e a tentativa de conexão ao *WiFi*. À título de conhecimento a variável *nivelSomdB* é a responsável por fazer a conversão do sinal analógico de entrada captado pelo microfone, amplificado pelo *AmpOp* e recebido pela porta de entrada do controlador, em decibéis.

```

void loop()
{
    // Código do sensor de som
    dB = analogRead(Mic); //A variável auxiliar dB vai receber o valor
    nivelSomdB = ((dB+83.2073) / 11.003); //Converte o sinal ADC em dB.

    if(nivelSomdB >= lim_Max) {
        //Se o nível de som for maior que 45, a lampada acenderá
        digitalWrite(pinoRele, HIGH);
        delay(5000);
        //Tenta se conectar ao servidor do Google docs na porta 443 (HTTPS)
        if (client.connect("docs.google.com", 443) == 1)
        {
            //Atribuímos a String auxiliar na nova String que sera enviada
            String toSend = textFix;
            //Definimos o nível medido como o que será enviado para a planilha
            toSend += nivelSomdB;
            //Completamos o metodo GET para nosso formulario.
            toSend += "&submit=Submit HTTP/1.1";
            //Enviamos o GET ao servidor-
            client.println(toSend);
            client.println("Host: docs.google.com");//-
            client.println();
            //Encerramos a conexao com o servidor
            client.stop();
            //Mostra no monitor que foi enviado
            Serial.println("Dados enviados.");
        }
        else
        {
            //Se nao for possivel conectar no servidor, ira avisar no monitor.
            Serial.println("Erro ao se conectar");
        }
        digitalWrite(pinoRele, LOW);
    }
}

```

Figura 19 – Código que define as rotinas do microcontrolador para receber os dados, fazer a conversão do que foi recebido em decibéis e definição do limite permitido de decibéis.



## Parte III

### Resultados



## 3 Resultados

### 3.1 Resultados do Protótipo

Desde a sua idealização o projeto passou por algumas mudanças de requisitos, como todo produto eventualmente é submetido para que seja devidamente aperfeiçoado. Devido ao fato de ter ocorrido uma pandemia, não foi possível reunir todo o grupo para fazer a montagem final do projeto na sua estrutura. No entanto serão apresentadas imagens do circuito de teste montado para verificação dos resultados.



Figura 20 – Primeira versão do protótipo construído em uma caixa de celulares antiga e ainda utilizando *leds* e uma tela de LCD.



Figura 21 – Protótipo versão 2, já sem a tela de LCD e a utilização de uma caixinha de plástico e com a presença da fonte.

Sua versão final, agora utilizando um circuito amplificador para um microfone que receberá os ruídos e acendendo uma lâmpada apenas quando o limite máximo é extrapolado, apresentou resultados satisfatórios. Apesar da maior dificuldade encontrada ser a questão de fazer a calibragem do equipamento, é possível observar que o comportamento do aparelho em relação à variação de pressão é fiel ao que foi proposto e ao que se esperava. Foram feitos três testes utilizando a simulação do que poderiam ser considerados

os ruídos presentes no ambiente. Esses ruídos eram tocados enquanto era feita uma comparação entre um aplicativo de decibelímetro no celular e verificado se a luz acendia ou apagava.

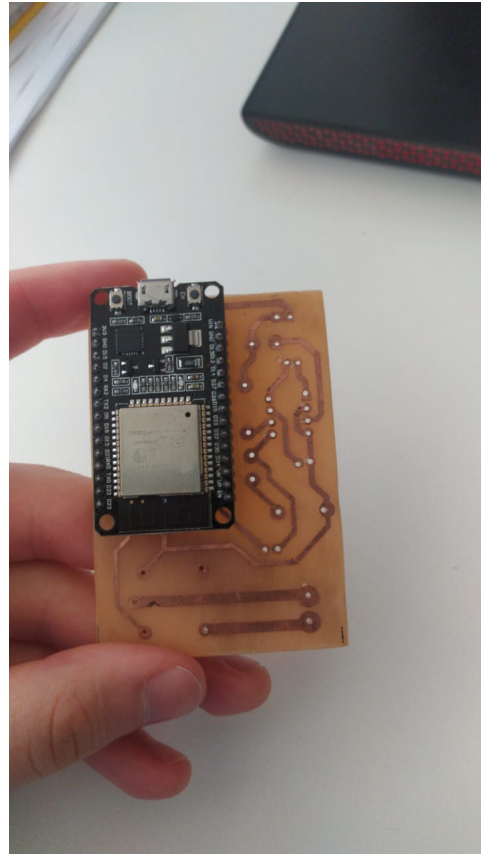


Figura 22 – Versão final do circuito acoplado a placa perfurada.

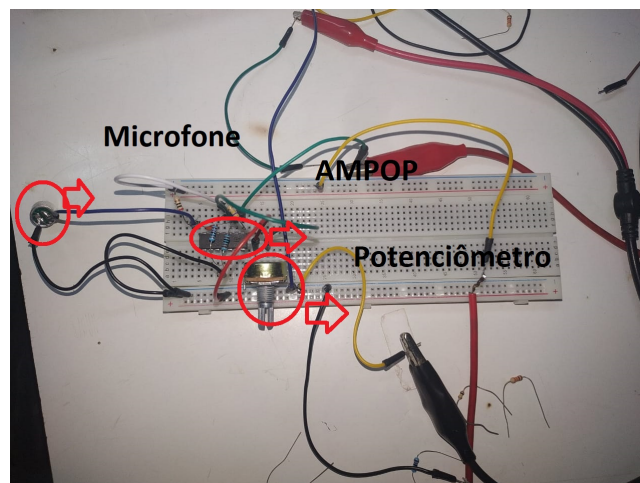


Figura 23 – Vista 1 do circuito montado para testes.

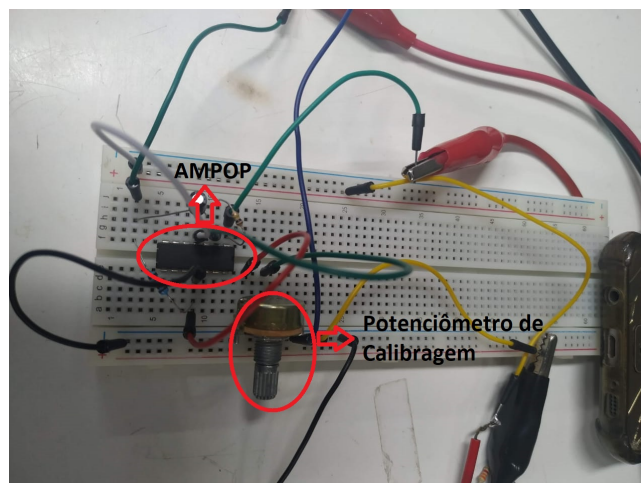


Figura 24 – Vista 2 do circuito montado para testes.

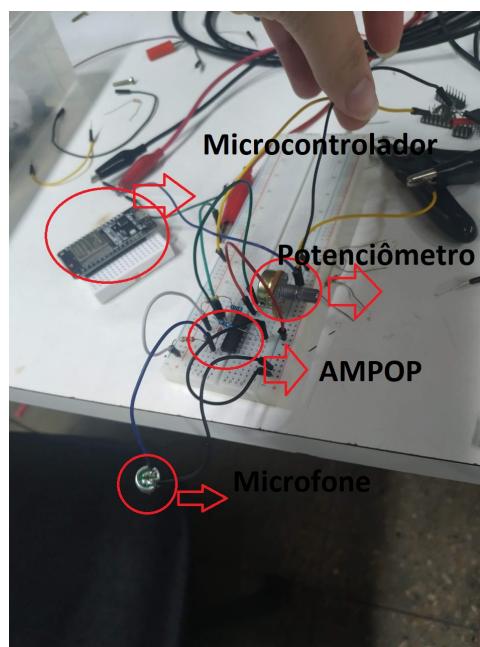


Figura 25 – Vista 3 do circuito montado para testes.

O primeiro teste obteve o seguinte resultado:

Medida	dB aplicativo Decibelímetro	Estado da luz
1	30 dB	Desligada
2	35 dB	Desligada
3	42 dB	Desligada
4	48 dB	Desligada
5	52 dB	Desligada
6	56 dB	Ligada
7	62 dB	Ligada
8	65 dB	Ligada
9	70 dB	Ligada
10	77 dB	Ligada
11	73 dB	Ligada
12	68 dB	Ligada
13	60 dB	Ligada
14	58 dB	Ligada
15	54 dB	Desligada

Tabela 2 – Primeiro teste realizado utilizando o protótipo sem fazer alteração de calibragem

Após uma recalibragem o resultado foi:

Medida	dB aplicativo Decibelímetro	Estado da luz
1	28 dB	Desligada
2	33 dB	Desligada
3	37 dB	Desligada
4	41 dB	Desligada
5	46 dB	Ligada
6	51 dB	Ligada
7	59 dB	Ligada
8	64 dB	Ligada
9	71 dB	Ligada
10	68 dB	Ligada
11	64 dB	Ligada
12	58 dB	Ligada
13	50 dB	Ligada
14	48 dB	Ligada
15	40 dB	Desligada

Tabela 3 – Segundo teste, realizado após uma recalibragem ter sido executada.

Para último parâmetro de comparação foi refeita mais uma calibragem.

Medida	dB aplicativo Decibelímetro	Estado da luz
1	25 dB	Desligada
2	29 dB	Desligada
3	33 dB	Desligada
4	38 dB	Desligada
5	42 dB	Ligada
6	49 dB	Ligada
7	54 dB	Ligada
8	57 dB	Ligada
9	65 dB	Ligada
10	62 dB	Ligada
11	58 dB	Ligada
12	52 dB	Ligada
13	49 dB	Ligada
14	44 dB	Ligada
15	40 dB	Desligada

Tabela 4 – Resultados para o terceiro teste após uma segunda recalibragem

## 3.2 Resultados da Identificação de Sistemas

Como o método mais eficiente foi o de utilizar a função de transferência definindo o número de polos e zeros, como possível observar na figura seguinte:

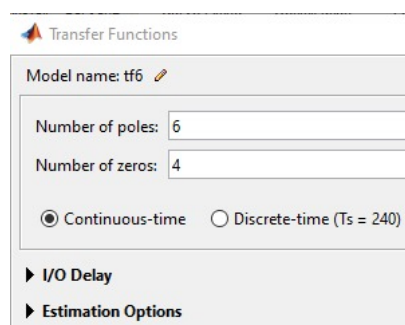


Figura 26 – Valores utilizados para definição de zeros e polos no sistema.

O *fit* obtido foi:

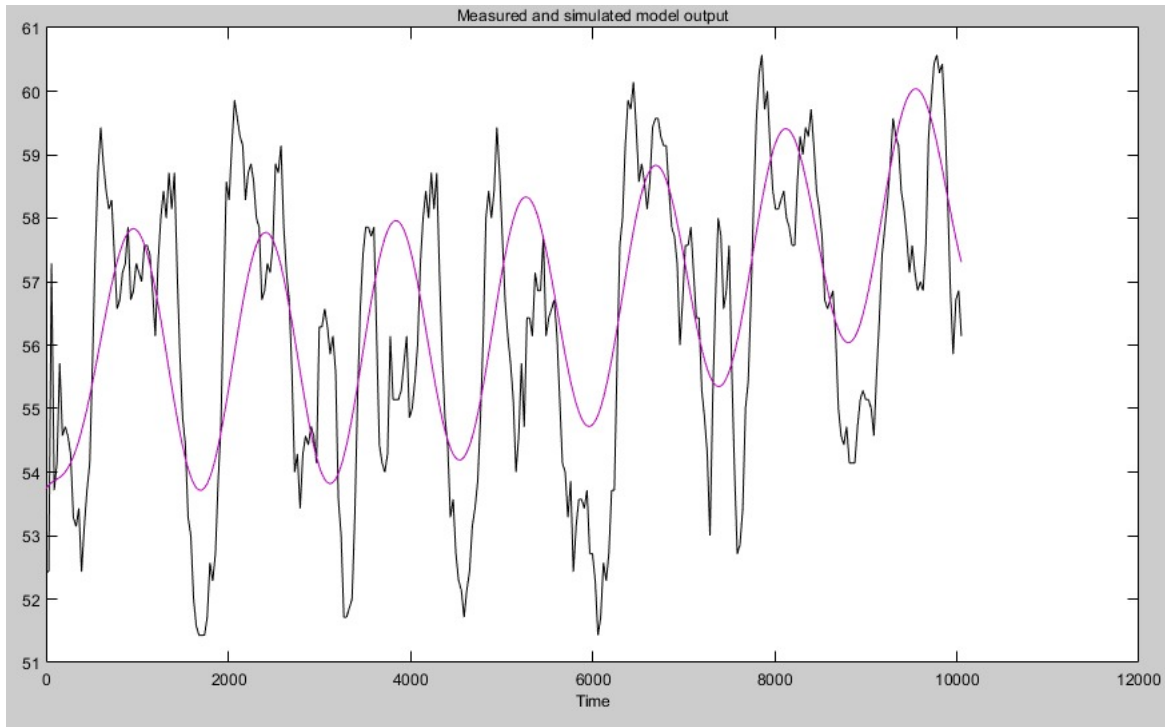


Figura 27 – *fit* obtido para número de zeros = 4 e números de polos = 6.

A função de transferência obtida para essa curva pode ser observada na figura a seguir.

```

From input "ul" to output "yl":
      0.0004364 s^4 + 7.388e-08 s^3 + 8.545e-09 s^2 + 2.572e-12 s + 2.505e-17
-----
      s^6 + 0.01451 s^5 + 8.766e-05 s^4 + 5.594e-07 s^3 + 1.407e-09 s^2 + 5.363e-12 s + 1.565e-15
Name: tf5
Continuous-time identified transfer function.

```

Figura 28 – Função de transferência para o parâmetro mais adequado ao sistema.

Essa função de transferência, ainda pode ser melhor avaliada, ao observar os parâmetros de parametrização utilizados pelo software.

```

Parameterization:
  Number of poles: 6   Number of zeros: 4
  Number of free coefficients: 11
  Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
  Estimated using TFEST on time domain data "minc".
  Fit to estimation data: 86.69% (stability enforced)
  FFE: 4.613, MSE: 1.955

```

Figura 29 – Parâmetros de parametrização utilizados pelo software para encontrar a função de transferência.

Como é possível observar, o *fit* obteve 86% de proximidade da curva real. Apresentando o erro médio quadrado de 1.95.



Por fim, existe a curva de resposta do sistema isolado a um impulso.

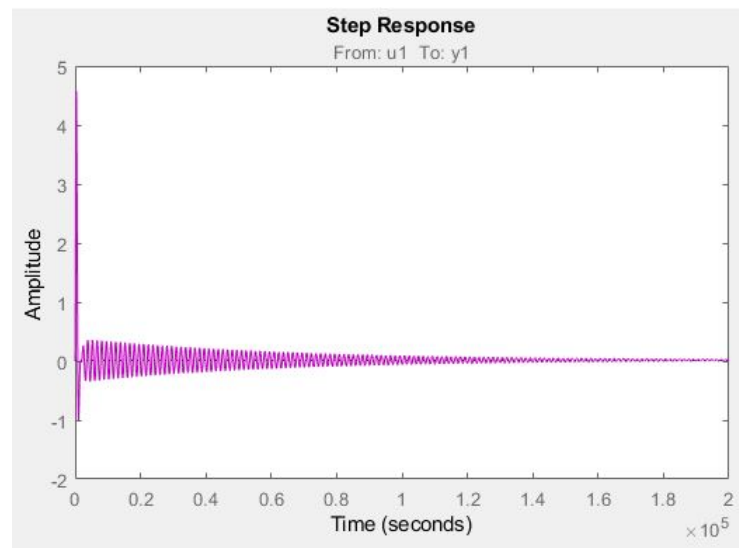


Figura 30 – Resposta da curva encontrada utilizando os parâmetros citados à um impulso.

A resposta mostra um sistema estável, como era de se esperar.



## Parte IV

### Discussão



## 4 Discussão

### 4.1 Achados Relevantes

A literatura apresenta um histórico referente ao não cumprimento das indicações referentes a nível de ruído em UTINs, sendo que os dados obtidos mostram, reiterando estes que, no caso particular, não há um instante em que os níveis de segurança sejam respeitados. Apesar desta característica observada, a identificação de sistemas permite que o perfil ruidoso do local seja traçado matematicamente de tal forma a viabilizar uma melhor estratégia para redução no nível de pressão sonora no local por meio de intervenção.

### 4.2 Avaliação da Própria Pesquisa: limites e aspectos positivos

Devido às mudanças no cenário mundial durante o tempo de desenvolvimento do estudo, a unidade na qual seriam feitos os testes para a obtenção dos dados para análise teve seu acesso restrito. Desta forma, não foi possível a realização de testes *in loco*, a análise foi feita com dados obtidos anteriormente no local. Apresentando uma solução para o problema de ruídos excessivos nas UTINs, a pesquisa faz contribuições positivas para a diminuição desses ruídos, e consequentemente, para a melhora do ambiente das unidades ao propor um equipamento, acessível, de alerta e monitoramento de ruídos com a possibilidade de armazenamento de dados.

### 4.3 Interpretação dos Dados

A média do nível de ruído mensurada na Unidade de Terapia Intensiva Neonatal foi de 59,6 dB, valor que se encaixa dentro da média que é encontrada em outras UTINs mas ainda se encontra acima do ideal. Tendo em vista os achados, pode-se observar que os valores mínimos medidos no dia ( $L_{min}$ ) se encontram próximo ao nível máximo de pressão sonora recomendado pela United States Environmental Protection Agency e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que é de 45 dB, só se apresentando abaixo desse valor 29% das vezes. Desta maneira, o nível de pressão sonora encontrado na UTIN está, quase de modo contínuo, acima do recomendado.

### 4.4 Versão 1

A primeira versão do projeto foi construída utilizando uma caixa de celulares, três leds e uma tela LCD que servia para verificar a calibragem do circuito, tendo sido ligada

ao arduíno, que por sua vez era alimentado por uma bateria. Essa versão já apresentou resultados satisfatórios, uma vez que apesar de estar descalibrada mostrou que o protótipo era responsivo às variações de ruído no ambiente. Nessa versão existiam 3 leds para que alertassem os funcionários sobre o cuidado com os ruídos, sendo eles verde para pressão abaixo de 30 dB, amarelo para intermediário de 31 a 45 dB e vermelho para quando fosse extrapolado o limite recomendado, ou seja, acima de 45 dB. Com testes simples feitos no laboratório em comparação à um decibelímetro digital o protótipo apresentou alguns erros de resultado, porém, mostrava o funcionamento das 3 luzes de acordo com as intensidades.

## 4.5 Versão 2

A segunda versão veio com a maior mudança na parte da estrutura, nessa versão além de uma caixa adaptada para o circuito, o protótipo também recebeu uma fonte, funcionando agora ligado direto à energia. Essa versão apresentou maior estabilidade uma vez que agora com a estrutura pensada para o protótipo, existiam menos problemas de conexão. Essa versão ainda funcionava com os limites de dB definidos e acendendo os leds das cores para avisar de acordo com a intensidade de som analogamente à primeira versão, ou seja, verde para nível de pressão abaixo de 30 dB, amarelo para nível entre 30 e 45 e vermelho para nível acima de 45.

## 4.6 Versão Final

A terceira e última versão, sofreu alterações de requisitos e agora não acende mais os leds para avisar sobre a intensidade de ruídos. Agora foi definido apenas que uma lâmpada deve ser acendida quando o limite de 45 dB for extrapolado. Como mostrado nos resultados, essa versão apresenta bons resultados, porém ainda sofre com problemas de calibragem. Ainda assim, apresenta a maior confiabilidade e estabilidade, uma vez que agora o circuito foi impresso evitando alguns problemas que ocorriam nas versões anteriores, como por exemplo, desconexão de cabos, ou mal contato.

## 4.7 Análise do Sistema

Como foi possível notar na figura 17 o fit apesar de não ter ficado muito fiel, apresentou 80% de precisão e demonstra que existe um padrão, durante o dia a pressão sonora tende a subir, assim como quando mais próximo do final de semana, também representa um aumento na média geral de pressão no ambiente. Além da análise de sistemas, é possível fazer uma análise direto aos dados obtidos durante a semana de coleta para a

sintetização de gráficos que demonstram o comportamento da variação de ruídos durante esse período.

No turno entre 00:00 e 12:00, os valores medidos estavam em torno de 50 a 60 db em 70,83% do tempo, com picos em quase todos os dias entre as 07:30 a 9:30, com ressalva do quarto dia em que teve um comportamento diferenciado. No quarto dia, no horário supracitado, o nível de ruídos foi superior a 60db. No entanto, nenhum dos dias houve uma ultrapassagem de 70db. Logo, isso demonstra que existe um padrão de procedimento que é realizado entre 7:30 e 9:30, em que os níveis de ruídos são elevados no turno entre 00:00 e 12:00. Tanto no terceiro, quanto no sexto dia ocorreu um padrão atípico entre 01:30 a 03:00 da madrugada, gerando picos de ruídos perto de 70 db, com os maiores valores registrados às 02:00. Os dados podem ser vistos a seguir:

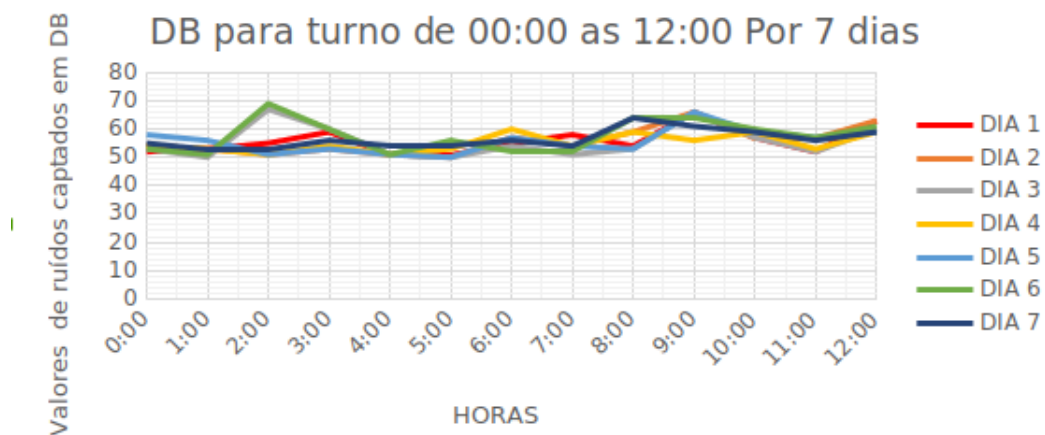


Figura 31 – Gráfico do ruído no turno de 00:00 as 12:00 horas..

Já para o turno de 12:00 a 00:00 é um turno mais barulhento, sendo que em 66,60% do tempo a curva média, está acima da curva do turno de 00:00 às 12:00. Porém, o turno de 12:00 a 00:00 não apresentou registro de ruídos acima de 65 db. Em contra partida, o turno de 00:00 às 12:00 apresentou registros perto de 70 db. Esses dados podem ser vistos a seguir:

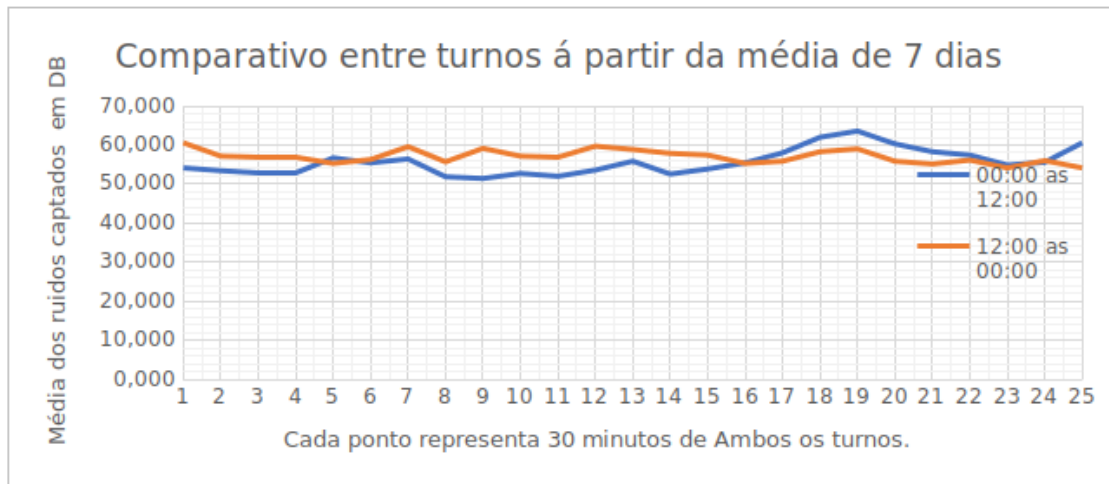


Figura 32 – Curva comparativa entre o turno diurno e o turno noturno.



Parte V

Conclusão



## 5 Conclusão

A pesquisa sobre a interferência dos ruídos nos ambientes hospitalares teve início no ano de 2018 e foi tema não só deste trabalho, mas também de um artigo (não publicado até o momento). Sendo assim, todo o embasamento teórico foi baseado na literatura existente enquanto os resultados foram encontrados através de experimentos empíricos até o início da pandemia. Com o gigantesco problema que afetou o mundo inteiro que foi a descoberta e disseminação da COVID-19, alguns experimentos tiveram que ser pausados e feitos através de simulações. Essa é a justificativa, inclusive, para a ausência de mais fotos do protótipo final. Com o cancelamento das aulas e fechamento dos laboratórios, era difícil a reunião e utilização de equipamentos para a construção e testes mais apurados do protótipo. Não apenas isso, mas também era limitada a verificação empírica de como o protótipo se comportaria na presença de uma equipe médica real, em uma UTIN real, já que a presença nos ambientes hospitalares foi reduzida significativamente ao ponto de serem permitidas apenas pessoas que realmente não poderiam deixar de estarem presentes. Por esses motivos, as considerações finais sobre o projeto tiveram de ser feitas através de simulações e esquemáticos 3D como foram mostradas ao explicar o desenvolvimento da pesquisa e criação da versão final do aparelho nessa pesquisa. Dessa forma, é importante ressaltar que alguns pontos do projeto podem ser aprimorados com o fim da pandemia, versões futuras podem ser implementadas, uma vez que testes presenciais realcem problemas não encontrados no decorrer das simulações. E entrando num contexto até mais pessoal, alguns requisitos podem ser mudados de acordo com a necessidade da equipe médica. Isso consequentemente, pode trazer uma expansão para versões diferenciadas de acordo com o ambiente e necessidade do produto. Outro detalhe de grande importância é lembrar que a análise da identificação de sistemas é feita em cima dos dados coletados em relação ao ambiente das UTINs e não diretamente ao produto desenvolvido, então em um período pós-pandemia, seria interessante fazer um estudo em relação aos dados obtidos antes e depois da utilização do "psiu, bebê". Sem mais delongas, é possível concluir, mesmo com as limitações impostas pelos problemas ocorridos, que o aparelho "Psiu, bebê" funciona de acordo com o que foi proposto e apesar dos problemas de calibragem ele tem total capacidade de auxiliar os funcionários a se manterem atentos à questão dos ruídos. É importante ressaltar que apesar de existirem formas para monitorar o nível de pressão sonora, a maior mudança tem que partir da própria equipe, uma vez que se todos se ajudarem e monitorarem uns aos outros, o problema diminui substancialmente. Em contra partida, existe o fato de que cada vez existem mais máquinas de monitoramento de saúde dos pacientes, o que consequentemente, faz com que existam mais ruídos. Esse ponto no entanto, deve ser aproximado de forma diferente, uma vez que com a evolução

as máquinas tendem a se tornar mais silenciosas. Por fim, o "Psiu, bebê", associado a evolução tecnológica e a consciência de que cada um pode fazer sua parte, se torna um equipamento muito útil no enfrentamento ao problema de ruídos indevidos no ambiente das UTINs.

## Referências

AGUIRRE, L. A. Introdução à identificação de sistemas - técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais. Belo Horizonte, 2004. Citado na página 38.

ANEXO I. Norma regulamentadora 15 atividades e operações insalubres anexo i. 2020. Disponível em: <[http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15\\_anexoI.htm](http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15_anexoI.htm)>. Citado na página 31.

ANEXO II. Norma regulamentadora 15 atividades e operações insalubres anexo ii. 2020. Disponível em: <[http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15\\_anexoII.htm](http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15_anexoII.htm)>. Citado na página 31.

BALBINO, P. V. P. F. S.; PINHEIRO, V. C. E. M.; KAKEHASHI, T. Y. Ruído no interior das incubadoras em unidade de terapia intensiva neonatal. v. 24, n. 2, p. 359–364, 2011. Citado na página 26.

BERTULUCCI, S. C. Pid: Como fazer o controle de sistemas. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/controle-pid/>>. Citado na página 36.

CONTO, H. L. R. de; A., J.; GODOY, P. C. Avaliação dos níveis de ruído em unidades de tratamento intensivo. *Rev Bras Cien Vida*, Rio de Janeiro, 2001. Citado na página 26.

GALLO, L. M. F.; OLIVERA, J. M. Noise pollution control system in the hospital environment. v. 705, n. 1, 2016. Citado na página 26.

GALLO, L. M. F.; OLIVERA, J. M. Noise pollution control system in the hospital environment. v. 705, n. 1, p. 32–36, 2016. Citado na página 35.

GSR SILVA RC, F. R. Ma. technologies in intensive care: causes of adverse events and implications to nursing. p. 1–5, 2016. Citado na página 25.

ICHISATO, S. M. T.; SCOCHI, C. G. S. Ruídos na unidade de cuidado intensivo neonatal durante as passagens de plantão (enfermagem e/ou médica) e visita médica. v. 5, p. 127–133, 2006. Citado na página 26.

KAKEHASHI, T. Y.; PINHEIRO, G. P. E. M.; GUILHERME, A. Nível de ruído em unidade de terapia intensiva neonatal. v. 20, n. 3, p. 404–409, 2007. Citado na página 26.

LA, R.; CD, M. Ruídos ambientais na uti neonatal. *Rev Bras Cien Vida*, 2017. Disponível em: <<http://jornal.faculdadecienciasdavidia.com.br/index.php/RBCV/article/view/143>>. Citado na página 26.

LEITE, N.; SILVA, V. S.; BUZO, B. C. Otoacoustic emissions in newborns with mild and moderate perinatal hypoxia. v. 28, n. 2, p. 93–98, 2016. Citado na página 26.

MOREIRA, J. Quais são os 3 tipos de ruído que todo profissional de SST deveria saber? 2020. Disponível em: <<https://descomplicasm.com.br/index.php/2017/09/26/os-3-tipos-de-ruído-que-o-profissional-de-sst-deve-saber/>>. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 30.

MOREIRA, M. E. L.; MORSCH, N. d. A. Braga e D. S. Quando a vida começa diferente: o bebê e sua família na uti neonatal. Rio de Janeiro, 2003. Citado na página 26.

NR15. Nr 15 - norma regulamentadora 15 atividades e operações insalubres. 2020. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15.htm>>. Citado na página 31.

PHD, C. Y.-I.; THOMSON, D. B. C. e V. M. The colorado newborn hearing screening project: Effects on speech and language development for children with hearing loss. v. 23, n. 3, p. 233–246, 1997. Citado na página 26.

SANTANA, L. d. S. R.; RUAS, L. S. d. Silva R. R. d. Silva J. E. Carvalho W. S. Santana L. A. R. Rossi-Barbosa e E. d. F. G. Measurement of acoustic noise levels in a neonatal intensive care unit. v. 19, n. 2, p. 32–36, 2015. Citado na página 26.

TSUNEMI, M. H.; KAKEHASHI, T. Y.; PINHEIRO, E. M. O ruído da unidade de terapia intensiva neonatal após a implementação de programa educativo. v. 21, n. 3, p. 775–782, 2012. Citado na página 26.

VOSTANIS, P. et al. Detection of behavioural and emotional problems in deaf children and adolescents: comparison of two rating scales. v. 23, n. S1, p. S132–S137, 2000. Citado na página 26.